

PARÂMETROS BIOQUÍMICOS DE PLANTAS DE PIMENTA LONGA
(*Piper hispidinervum* C.DC.) EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CULTIVO NO MUNICÍPIO
DE IGARAPÉ-AÇU, PA¹

Enilson Solano Albuquerque SILVA²
Cleo Marcelo de Araújo SOUZA³
Olinto Gomes da ROCHA NETO⁴
Francisco José Câmara FIGUEIRÊDO⁴

RESUMO: Parâmetros bioquímicos de plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica, foram estudados em condições de campo, no período de maio/98 a março/99, no município de Igarapé-Açu, PA. Adotaram-se os seguintes tratamentos: T1 - irrigado e não-adubado; T2 - irrigado e adubado; T3 - não-irrigado e não-adubado; T4 - não-irrigado e adubado. Avaliou-se o efeito do estresse hídrico, através do conteúdo de clorofila, dos teores de açúcares solúveis e proteínas totais, e dos teores de fósforo e potássio. Observou-se que, nos meses mais secos, ocorreu a redução do conteúdo de clorofila, independente do tratamento aplicado, sendo a clorofila a, a mais afetada. O estresse hídrico reduziu os teores de açúcares solúveis totais e de potássio, enquanto os de proteínas e fósforo se mantiveram constantes, durante o período de observação. Nas plantas irrigadas, os teores de potássio aumentaram com a idade.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: *Piper hispidinervum*, Estresse hídrico, Respostas bioquímicas, Suplementação hídrica.

BIOCHEMICAL PARAMETERS OF PLANTS OF PIMENTA LONGA
(*Piper hispidinervum* C.DC.) UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF
CULTIVATION IN THE MUNICIPAL DISTRICT OF IGARAPÉ-AÇU, PA

ABSTRACT: The biochemical parameters of plants of pimenta longa, cultivated with and without irrigation, were studied under field conditions, between May/98 and March/99, in the Municipal district of Igarapé-Açu, PA. The following treatments were tested:

¹ Aprovado para publicação em 22.04.09

Parte da Dissertação apresentada pelo primeiro autor para obtenção de grau de Mestre em Agronomia, área de concentração em Fisiologia Vegetal Tropical na Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA.

² Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental. Email: enilson@cpatu.embrapa.br.

³ Biólogo, M.Sc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Email: cleo@cpatu.embrapa.br.

⁴ Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental. E-mail: olinto@cpatu.embrapa.br; fjcfc@cpatu.embrapa.br.

T1 - irrigated and non-fertilized; T2 - irrigated and fertilized; T3 - non-irrigated and non-fertilized; T4 - non-irrigated and fertilized. The effects on water stress, chlorophyll content, total soluble sugar content, total protein content and phosphorus and potassium content were evaluated. It was observed that in the driest months, there was a reduction in the chlorophyll content, independent of the treatment, being chlorophyll a, more affected. Water stress reduced the contents of total soluble sugars and potassium, while the protein and phosphorus contents stayed constant, during the studied period. In the irrigated plants, potassium contents increased with plants age.

INDEX TERMS: *Piper hispidinervum*, Water stress, Biochemical responses, Irrigation.

1 INTRODUÇÃO

A pimenta longa é considerada uma alternativa para a produção de safrol natural, matéria-prima utilizada na obtenção da heliotropina e do butóxido de piperonila, subprodutos potencialmente utilizados nas indústrias de fragrâncias e de cosméticos e como componentes de inseticidas biodegradáveis, respectivamente.

O estresse hídrico afeta praticamente qualquer aspecto do crescimento das plantas, inclusive a anatomia, a morfologia a fisiologia e a bioquímica; a absorção e a translocação de água e nutrientes, induzindo, nas plantas, diversas modificações bioquímicas (frequentemente em acúmulo de açúcares e aminoácidos), alterando o metabolismo celular (BENINCASA; LEITE, 2004). Segundo Cellier et al. (1998), a deficiência hídrica pode resultar em danos na integridade da célula. Nesse aspecto, Souza, Gonçalves e Almeida (1999) observaram que o déficit hídrico

afetou a diferenciação celular, causou danos nas células e desorganização em tecidos de eucalipto.

As plantas acumulam matéria seca na forma de carboidratos, proteínas e lipídios para suprir a demanda de energia na falta de produção de assimilados, como acontece à noite ou em condições de estresse (PIMENTEL, 1998). Segundo Hanson e Hitz (1982), o crescimento está ligado à síntese de novos constituintes celulares. Contudo, a deficiência hídrica altera o transporte e os processos bioquímicos com consequências no desenvolvimento das plantas. A desidratação causa mudanças no particionamento de assimilados, e forma sacarose em um grande número de espécies (CHAVES, 1991). Todavia, a deficiência hídrica também causa reduções nos teores de açúcares (PREMACHANDRA, 1991; MARUR et al., 1996).

A eficiência fotossintética está ligada à quantidade de clorofila e, conseqüentemente,

ao crescimento da planta. O déficit hídrico tem efeito sobre a degradação do cloroplasto, causando decréscimos no conteúdo de clorofila (CONCEIÇÃO et al., 1985).

A nutrição mineral tem importância fundamental na resposta do vegetal à deficiência hídrica. O fósforo, dentre outras funções, está envolvido na fotossíntese, em que os primeiros açúcares formados são as trioses e hexoses fosfatos; na regulação de proteínas, pelos processos de fosforilação e desfosforilação; e no movimento de água e nutrientes no xilema (BLEVINS, 1999). O potássio, por sua vez, está envolvido no movimento estomático, e junto com os açúcares solúveis totais e aminoácidos são os maiores contribuintes no mecanismo de ajustamento osmótico (PREMACHANDRA; SANEOKA; OGATA, 1991).

Portanto, todos os fatores ambientais que interferem no mecanismo de absorção e assimilação de água e nutrientes terão influência negativa sobre o crescimento da planta, diminuindo o crescimento e a produtividade das culturas. Desse modo, este trabalho tem o objetivo de estudar algumas variáveis bioquímicas nas plantas de pimenta longa, durante seu ciclo de desenvolvimento, diante das variações sazonais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CONDIÇÕES DE CULTIVO E MATERIAL VEGETAL

Conduziu-se o experimento em condições de campo, no período de maio/98 a março/99, em uma pequena propriedade rural no município de Igarapé-Açu, no nordeste do estado do Pará, (1°16'758"S, 47°35'575"W). O solo predominante é o Latossolo Amarelo textura arenosa. O clima, segundo a classificação de Köppen (EMBRAPA. CPATU, 1986), é Am, e apresenta, baseado em dados da estação climatológica Marcelino da Embrapa Amazônia Oriental, um período seco que se estende de setembro a novembro. De acordo com Silva (2000), a precipitação média anual é de 2.500 mm, apresentando dois períodos distintos (Jan/Jun) com média mensal superior a 200 mm e distribuição regular; e (Jul/dez), com média mensal inferior a 160 mm e distribuição bastante irregular. A RFA foi, em média, sempre superior a 1.200 mmol m⁻² s⁻¹ pela parte da manhã, independente da época do ano. Entretanto, a intensidade de precipitação, assim como a presença constante de nebulosidade, diminuiu consideravelmente a RFA na época chuvosa. As variações de temperatura e de umidade relativa do ar, no período chuvoso, apresentaram pequenas alterações diurnas, onde a temperatura cresceu de 25,5°C a 28,6°C e a umidade relativa reduziu de 91% para 77%. No

período seco, as variações são mais expressivas, com a temperatura crescendo de 25,8°C a 33,4°C e a umidade relativa reduzindo de 87% para 60%.

2.2 ARRANJOS NO CAMPO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A área experimental constou de duas subáreas de 40 m x 40 m (1600 indivíduos em cada subárea), distantes aproximadamente 20 metros uma da outra, sendo uma irrigada e a outra não. Cada subárea foi constituída de dois grupos de plantas, em que um grupo foi plantado com matéria orgânica e o outro sem matéria orgânica. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos arranjados em parcelas subdivididas com 5 repetições. Os tratamentos foram os seguintes: T1 - irrigado e não-adubado; T2 - irrigado e adubado; T3 - não-irrigado e não-adubado; T4 - não-irrigado e adubado.

Os dados foram analisados, seguindo os procedimentos da análise de variância, de acordo com o delineamento utilizado. As diferenças entre os tratamentos foram verificadas pelo teste de Tukey, em nível de erro de 0,05, utilizando-se o programa estatístico SAS.

2.3. VARIÁVEIS DE RESPOSTAS

As respostas bioquímicas, às condições de cultivo impostas pelos tratamentos, foram avaliadas a cada 2 meses, a partir do 3º mês de plantio. As avaliações levaram em consideração vários parâmetros: Para a determinação das concentrações de clorofila, extraíram-se cinco discos, de um centímetro de diâmetro, de folhas maduras da parte intermediária das plantas, de modo que representasse a lâmina foliar. As amostras de disco foliar foram extraídas com acetona a 80%, e analisadas segundo a metodologia proposta por Arnon (1949). As concentrações das clorofilas **a**, **b**, e **total** e a **relação a/b** foram expressas em (mg cm⁻²) e obtidas através dos seguintes cálculos:

$$a) \text{ Ca (mg L}^{-1}\text{)} = 12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}$$

$$b) \text{ Cb (mg L}^{-1}\text{)} = 22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}$$

$$c) \text{ Ctotal (mg L}^{-1}\text{)} = 8,09 \times A_{663} + 20,2 \times A_{645}$$

$$d) \text{ Relação a/b} = \text{Ca/Cb}$$

Os resultados obtidos nas equações a, b e c foram multiplicados por:

$$\frac{V}{100 \times A}$$

Onde:

V = volume final do extrato em mL; A = Área dos discos em cm².

Para as dosagens dos teores de açúcares solúveis totais e proteínas totais, utilizaram-

se amostras de folhas e raízes de cinco plantas (repetições), que, depois de secadas em estufa a 65°C até peso constante, foram moídas e extraídas em álcool a 70%. Os teores de açúcares solúveis totais foram determinados, em duplicatas, de acordo com o método colorimétrico, adaptado de Yemm e Willis (1954); os teores de proteínas foram determinados, em duplicatas, a partir do método colorimétrico adaptado de Bradford (1976); para a determinação dos macronutrientes, as amostras descritas anteriormente foram submetidas à digestão sulfúrica (H_2SO_4/H_2O_2); os teores de fósforo seguiram o método colorimétrico, adaptado de Chen Jr., Taribara e Warner (1956); e os teores de potássio foram determinados através da técnica de fotometria de chama, adaptado de Salinas e Garcia (1985). Os resultados foram expressos em $g\ kg^{-1}$ de matéria seca.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONTEÚDOS DE CLOROFILA

As variações no conteúdo das clorofilas *a* e *b*, durante o desenvolvimento da planta em condições de campo estão representadas na Figura 1. De um modo geral, não se verificaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Heitholt, Johnson e Ferris (1991) verificaram que

o conteúdo de clorofila foi maior em folhas de plantas de trigo, cultivadas com alta concentração de nitrogênio, sob déficit hídrico, que em plantas com alta concentração de nitrogênio e irrigadas.

Com relação à idade das plantas, observou-se que o conteúdo de clorofila *a*, demonstrado na Figura 1A, decresceu bruscamente até 7 meses após o plantio, independente do tratamento aplicado. Contudo, nas plantas sem irrigação, os conteúdos foram superiores no 5º mês ($P=0,0322$); enquanto, nas plantas sem adubação, os conteúdos foram superiores no 9º mês ($P=0,0083$). Esse comportamento deve estar relacionado com as reduções do teor de água no solo, nos períodos de deficiência hídrica que antecederam às coletas das folhas, assim como pela maior intensidade luminosa verificada no período (SILVA, 2000).

De acordo com Kramer e Kozlowski⁵ (1979, apud ENGEL; POGGIANI, 1991), sob intensidades de luz elevada, a velocidade de degradação é maior que a velocidade de síntese. Portanto, este fator pode ter sido também responsável pela redução nos conteúdos de clorofila que desencadeou o processo de senescência foliar observada nos períodos de déficit hídrico acentuados.

⁵ KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T.T. *Physiology of wood plants*. New York: Academic Press, 1979. 811p.

Nesse sentido, Gan e Amasino (1997) relatam que a senescência foliar pode ser iniciada por fatores intrínsecos, como idade da planta, desenvolvimento reprodutivo e concentrações de fitormônios. Contudo, os fatores ambientais, como a deficiência de nutrientes e a falta de água, podem acelerar este processo natural.

A clorofila **b** (Figura 1B), que tem um papel importante na proteção do aparelho fotossintético, principalmente no fotossistema II (STREIT et al., 2005), apresentou comportamento semelhante, reduzindo a concentração nos períodos que antecederam os meses mais secos (setembro a novembro). Contudo, o decréscimo foi menos acentuado, e nas plantas sem, irrigação, os conteúdos foram superiores no 3º mês ($P=0,0128$) e no 5º mês ($P=0,0352$). Em plantas sem adubação, conteúdos maiores foram verificados no 3º mês ($P=0,0261$) e no 9º mês ($P=0,0081$). Observou-se também que para essa fração de clorofila não ocorreu a recuperação verificada para a clorofila **a**, no último período. Sircelj et al. (2005) observaram comportamento semelhante em duas cultivares de maçã, quando submetidas a estresse hídrico prolongado. Contudo, em condições de campo, devido ao dinamismo dos fenômenos e a falta de controle dos eventos, certas ocorrências são difíceis de serem explicadas.

Sobre esse acontecimento, a literatura aborda mudanças, que ocorrem em nível bioquímico, decorrentes de fatores ambientais, como a conversão de clorofila, desencadeada por alterações na intensidade e qualidade da luz (OHTSUKA; ITO; TANAKA, 1997), onde a clorofila **b** é convertida em clorofila **a**, por meio de uma enzima chamada clorofila **a** oxigenase, que catalisa a conversão do grupo metil ao grupo aldeído (STREIT et al., 2005).

Segundo Streit et al. (2005), o ambiente de luz em que a planta cresce é de fundamental importância, pois a adaptação das plantas a este ambiente depende do ajuste de seu sistema fotossintético, de modo que a luminosidade ambiental seja utilizada de maneira mais eficiente possível e as respostas destas adaptações serão refletidas no crescimento global da planta.

Na Figura 2, representa-se o comportamento da clorofila **total** e da relação **a/b**. Na Figura 2A, que mostra a variação da clorofila **total**, a queda acentuada nos meses mais secos (setembro a novembro) foi influenciada pela redução no conteúdo de clorofila **a**, que apresentou maior variação nesse período. Em híbridos de seringueira, Conceição et al. (1985) verificaram que o aumento do estresse hídrico

favoreceu a redução gradual no conteúdo de clorofila **total**, com redução de 50% do conteúdo normal. Analisando as variações no conteúdo de clorofila **total**, ficou mais evidente a redução nas concentrações de clorofila no tratamento sem irrigação e com adubação.

A relação clorofila **a/b** (Figura 2B) também foi afetada pela deficiência hídrica, pois os menores valores dessa relação, em torno de 1,5, foram verificados nos períodos antecedidos pelos estresses. Analisando essas respostas, ficou

claro que a clorofila **a** foi mais afetada pelo déficit hídrico que a clorofila **b**, pois, proporcionalmente, as reduções foram maiores para a clorofila **a**. Contudo, em plantas de milho sob condições controladas, verificaram-se aumentos na relação clorofila **a/b** (ALBERTE; THORNBUR, 1977). Esses autores atribuíram essas respostas a danos causados ao sistema clorofila **a/b**-proteína (aparato coletor de luz onde se concentra maior quantidade de clorofila **b** na membrana).

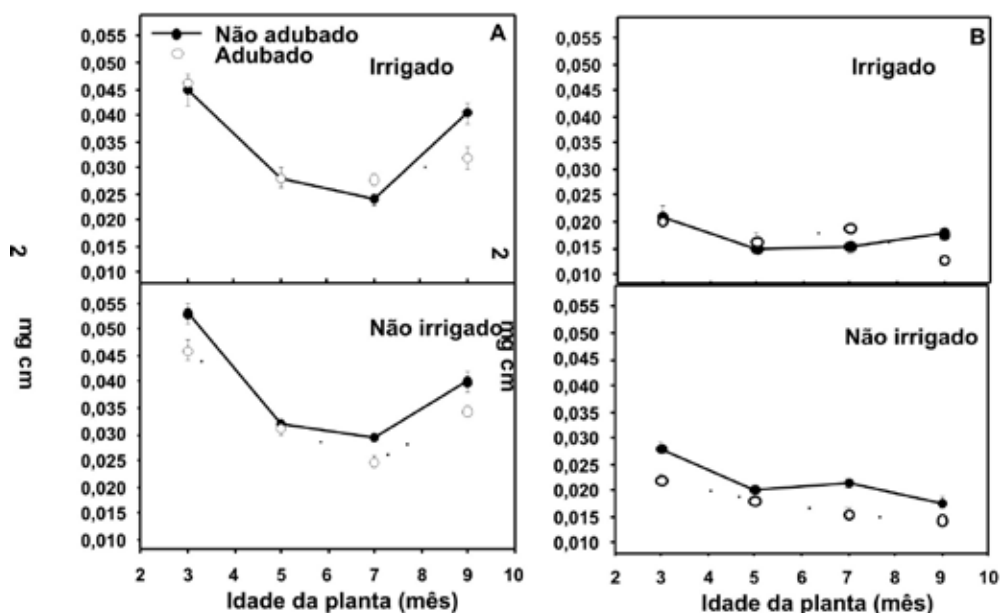


Figura 1 - Valores médios (\pm erro padrão) do conteúdo de clorofila **a** (A) e de clorofila **b** (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica (n=5).

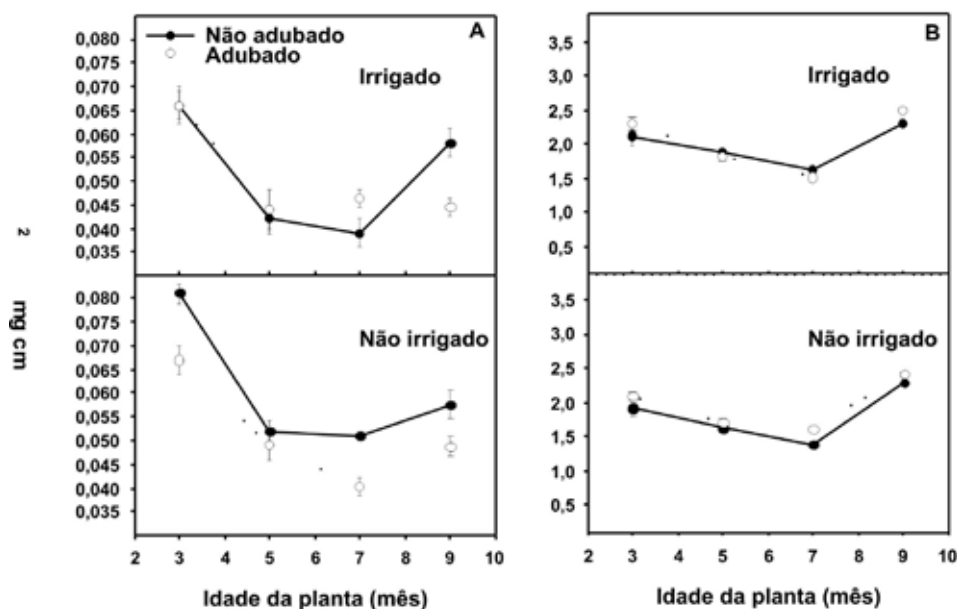


Figura 2 - Valores médios (\pm erro padrão) do conteúdo de clorofila total (A) e da relação clorofila a/b (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica (n=5).

3.2 TEORES DE AÇÚCARES SOLÚVEIS TOTAIS

Na Figura 3, representam-se os teores de açúcares solúveis totais em folhas e raízes de pimenta longa, submetidas às variações climáticas do período, durante o desenvolvimento da planta. Observou-se que o conteúdo de açúcares solúveis totais apresentou pouca variação entre os diferentes tratamentos, apesar de o comportamento ter sido bastante irregular, quanto à idade das plantas, diante da sazonalidade climática.

Na primeira análise, efetuada 3 meses após o plantio, que coincidiu com períodos de

precipitações pluviométricas elevadas, o conteúdo de açúcares solúveis totais foi alto tanto nas folhas quanto nas raízes das plantas. Nessa fase, foram verificados valores superiores em plantas não irrigadas, nas folhas ($P=0,0010$); e em plantas não adubadas tanto na folha ($P=0,0386$) quanto na raiz ($P=0,0161$). Entretanto, no quinto mês após o plantio, fase precedida de estresse hídrico acentuado, verificou-se um substancial decréscimo nos teores de açúcares solúveis totais nas folhas de plantas irrigadas e não irrigadas (Figura 3A). Contudo, diferenças significativas foram verificadas somente para o fator adubação,

com teores superiores em plantas adubadas ($P=0,0007$). Decréscimos nas concentrações de açúcares de plantas, sob deficiência hídrica, foram observados também por Premachanda, Saneoka e Ogata (1991) na cultura do milho, e por Marur, Massafra e Magalhães (1996), na cultura do algodão, em que os teores de açúcares solúveis totais foram reduzidos em 55%.

No sétimo mês após o plantio, período também precedido de estresse hídrico, observou-se que os teores de açúcares nas folhas ficaram próximos dos observados nos primeiros meses em plantas irrigadas e não irrigadas. Supõe-se que esse comportamento pode ter sido em função das diferentes intensidades de estresse que precederam as coletas das folhas, com diferentes reflexos sobre o ajustamento osmótico das plantas (HANSON; HITZ, 1982). Sob condições de estresse hídrico prolongado, Pimentel (1999) e Sircelj et al. (2005) observaram um aumento gradativo no teor de carboidratos solúveis no milho e em cultivares de maçã, respectivamente; o mesmo observado por Costa et al. (2008) e Lobato et al. (2008) estudando cultivares de ervilha; enquanto Guimarães, Stone e Brunini (1996) verificaram redução na translocação de carboidratos, na cultura do feijoeiro, com consequente acúmulo no local de síntese.

Chaves (1991) e Cordeiro (2007) ressaltam que a manutenção ou acúmulo dos teores de açúcares, que ocorre em plantas sob déficit, pode ser decorrente da restrição à síntese de proteínas e da hidrólise das reservas de amido, bem como de distúrbios causados pela deficiência de água nos tecidos do floema, reduzindo a sua translocação para outros órgãos. Esses compostos provocam a manutenção da turgescência, mesmo com a diminuição do potencial hídrico foliar, garantindo a expansão celular e o crescimento. Segundo Menezes et al. (2006), o aumento das concentrações de açúcares resulta na maior parte da hidrólise do amido, que requer atividade de enzimas hidrolíticas, mecanismo pelos quais as plantas adquirem tolerância ao estresse hídrico.

O potencial hídrico da planta pode ser mantido durante a seca, por um ajustamento osmótico e os açúcares podem servir como solutos compatíveis, permitindo tal ajuste osmótico.

A síntese de sacarose e a crescente atividade da sacarose-fosfato sintetase não são somente respostas à seca em plantas resistentes ao estresse hídrico, mas também em plantas que não podem suportar uma seca prolongada (GRIFFITHS; PARRY, 2002).

O decréscimo no conteúdo de açúcares observado no nono mês, período com suprimento

normal de água, proporcionado pela precipitação pluviométrica, relaciona-se com o acúmulo de matéria seca em diferentes intensidades,

dependendo do tratamento, na haste principal (SILVA; ROCHA NETO; FIGUEREDO, 2002).

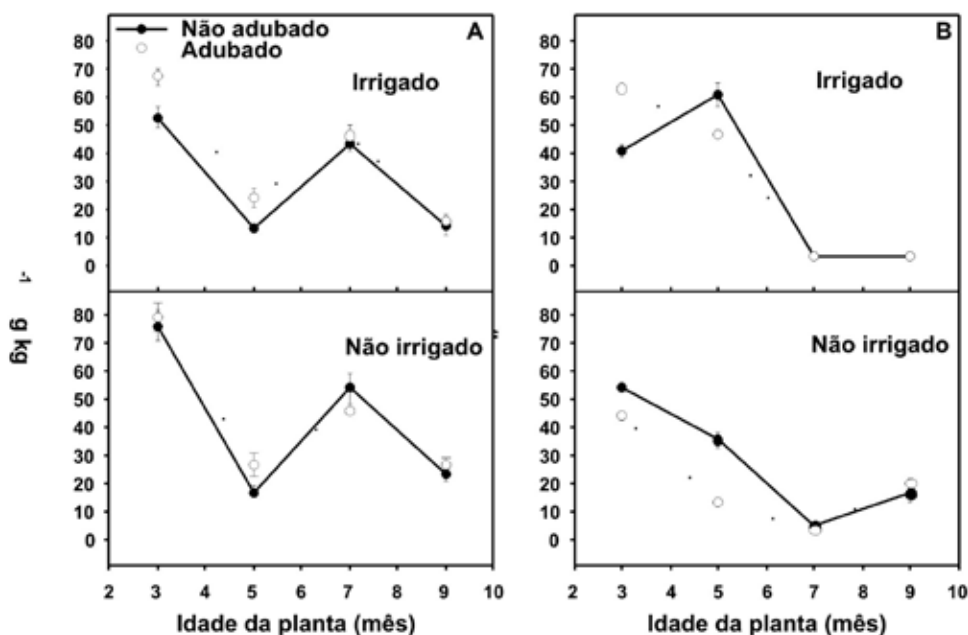


Figura 3 - Valores médios (± erro padrão) dos teores de açúcares solúveis totais da folha (A) e da raiz (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos (B) com e sem suplementação hídrica (n=5).

Este comportamento indica uma possível translocação de carboidratos para o desenvolvimento e armazenamento nesta parte da planta, podendo estar relacionado com o ciclo biológico da planta, pois nesse período, verificou-se a perda de folhas nas plantas dos tratamentos irrigados, o que é uma característica desta espécie, quando a planta atinge o desenvolvimento vegetativo máximo.

Nesse sentido, segundo Chaves (1991), nas folhas completamente expandidas, o carbono é utilizado pela própria folha e por outras partes da planta, enquanto, em folhas maduras, a maior parte dos assimilados é direcionada para o restante da planta. Esse autor cita ainda que os processos que regulam o metabolismo da folha determinam a quantidade de assimilados para o armazenamento, manutenção e distribuição. Por outro lado, Pimentel

(1999) supôs que o aumento de açúcares solúveis totais em plantas de milho sem deficiência hídrica foi devido à aproximação da fase reprodutiva da planta, fase esta demandante de reservas.

Nas raízes (Figura 3B), no quinto mês, após o plantio, os teores de açúcares solúveis totais foram maiores nos tratamentos com suplementação hídrica e nos não-adubados. A partir daí, ocorreu uma brusca redução nos tratamentos irrigados e uma redução gradual nos tratamentos sem irrigação.

3.3 TEORES DE PROTEÍNAS TOTAIS

Os teores de proteínas totais nas folhas e raízes de pimenta longa, submetidas às variações sazonais, estão expressos na Figura 4. Com base na análise dos dados, verificou-se que, de modo geral, não foram encontradas diferenças significativas quanto aos fatores irrigação ou adubação, sendo algumas diferenças relacionadas à interação desses fatores. Nas folhas de plantas irrigadas (Figura 4A), assim como nas raízes (Figura 4B), verificaram-se reduções nos teores de proteínas nas coletas precedidas de épocas secas, apresentando teores inferiores aos das plantas não-irrigadas: no 5º mês, raiz ($P=0,0018$), folha ($P=0,0324$); e no 7º mês, raiz ($P=0,0182$), folha ($P=0,004$). Essas reduções devem estar relacionadas com o ciclo de desenvolvimento das plantas nestes tratamentos,

uma vez que as reduções nas plantas adubadas, onde se observaram maiores crescimentos, foram maiores. Nesse sentido, Buchanan-Wollaston (1997) enfoca que em folhas maduras as alterações no conteúdo de proteínas ocorrem em níveis muito baixos, até que condição interna ou externa inicie o processo de senescência. Entretanto, Lechinoski et al. (2007) observaram uma diminuição acentuada (97,5%) dos teores de proteínas durante nove dias de deficiência hídrica em teca. De acordo com Magalhães (1979), Lechinoski et al. (2007) e Costa et al. (2008), a restrição na absorção de água diminui a turgescência celular e causa paralisação do crescimento, causando um aumento das enzimas proteolíticas, que quebram as proteínas estocadas nas plantas, e uma diminuição da síntese de proteínas, mostrando que esta deficiência afeta todos os processos bioquímicos na tentativa de manter os níveis de água na folha, assim como o balanço osmótico celular. Além disso, algumas proteínas envolvidas na interação hidrofílica com macromoléculas celulares são sintetizadas para estabelecer o metabolismo e agir na recuperação dos danos causados pelo estresse hídrico (LOBATO et al., 2008). Nas folhas, os teores de proteínas totais foram muito superiores aos observados nas raízes.

Nas plantas submetidas à deficiência hídrica, os conteúdos de proteínas nas folhas

permaneceram praticamente inalterados durante todo o período observado. A manutenção de teores elevados, nos períodos precedidos de épocas secas,

nas folhas se relaciona com a quebra das proteínas de reserva e a degradação de clorofilas que foram observadas nessa mesma época.

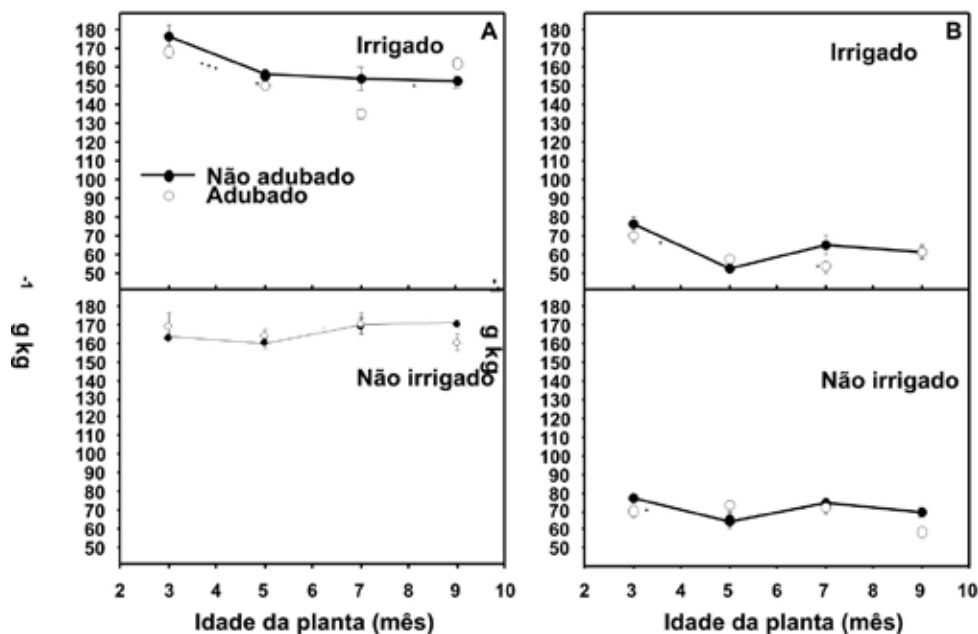


Figura 4 - Valores médios (\pm erro padrão) dos teores de proteína da folha (A) e da raiz (B), em função da idade das plantas de pimenta longa, em cultivos com e sem suplementação hídrica (n=5).

Nesse sentido, estudos de Gan e Amasino (1997) e Streit et al. (2005) relatam que na senescência foliar pode envolver a degradação de proteínas, clorofilas, ácidos nucleicos e membranas. Esses mesmos autores ressaltam que, durante a senescência foliar, a primeira e mais significativa mudança na estrutura da célula é a degradação do cloroplasto, organela que contém mais de 70% da proteína da folha. Funcionalmente, a senescência não é simplesmente um processo degenerativo, é

também um processo de reciclagem, em que os nutrientes são translocados de células senescentes para folhas jovens, sementes em desenvolvimento e tecidos de estocagem (GAN; AMASINO, 1997).

Por outro lado, a degradação de proteínas, com consequente liberação de aminoácidos solúveis, pode ser outro fator responsável pela manutenção dos teores elevados, pois segundo Buchanan-Wollaston (1997) e Lechinoski et al.

(2007), durante a senescência foliar, a degradação de proteínas, com consequente remobilização de seus componentes, possivelmente, seja o mais significativo processo metabólico que ocorre na célula.

3.4 TEORES DE FÓSFORO E POTÁSSIO

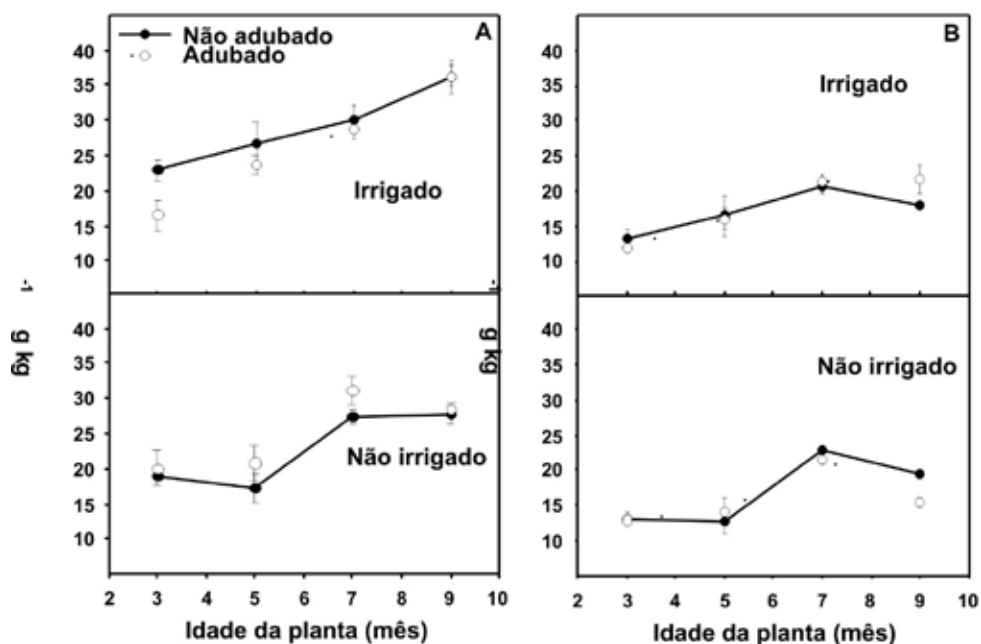
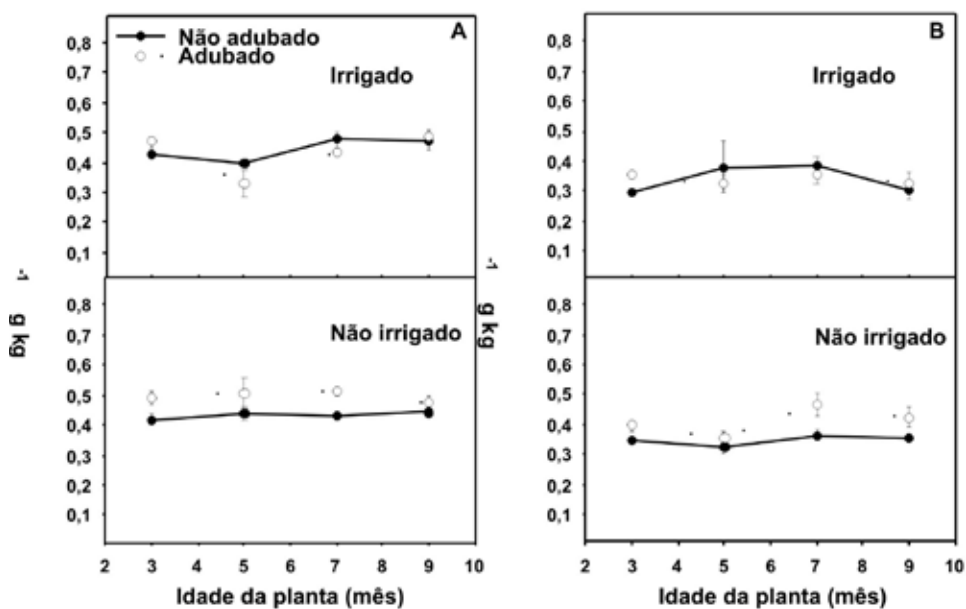
Os teores de fósforo nas folhas e raízes, representados nas Figuras 5A e 5B, respectivamente, tiveram comportamento semelhante, sem grandes variações entre os tratamentos nas épocas verificadas, apresentando os conteúdos nas raízes pouco menores que nas folhas. Os teores de fósforo nas plantas não-irrigadas foram superiores na raiz, no 3º mês ($P=0,0003$) e no 9º mês ($P=0,0274$); e na folha, no 5º mês ($P=0,0366$). Nas plantas sem adubação foram verificados teores superiores apenas no 3º mês na folha ($P=0,0475$) e raiz ($P=0,0001$). A manutenção dos teores de fósforos nas células de plantas, sob deficiência hídrica, foi observada em cultura de milho por Premachandra, Saneoka e Ogata (1991).

Quanto ao potássio, observou-se que, de modo geral, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Contudo, as plantas irrigadas apresentaram teores superiores na folha no 5º mês ($P=0,0249$) e no 9º mês ($P=0,0001$). Quanto ao fator adubação, não houve diferença significativa em nenhum período.

Nas plantas irrigadas, ocorreu um aumento gradativo dos teores deste íon tanto nas folhas (Figura 6A) quanto nas raízes (Figura 6B), com pequenas variações na fase inicial do desenvolvimento com relação ao tratamento adubado. Nas plantas cultivadas sem suplementação hídrica, o padrão de comportamento foi semelhante nas folhas e raízes nos diferentes tratamentos. Contudo, os períodos de deficiência hídrica afetaram as concentrações de potássio, pois foram verificadas variações relacionadas à sazonalidade das observações. Em plantas de milho, cultivadas sob deficiência hídrica, não foram verificadas variações quanto aos teores do íon potássio (PIMENTEL, 1999).

Segundo Rosolem et al. (2003), tanto a disponibilidade hídrica como a disponibilidade de potássio podem influir na morfologia radicular e no balanço entre os processos de contato potássio-raiz.

A redução da alocação de biomassa aérea das folhas e dos caules e aumento da biomassa radicular podem estar associados a um mecanismo de adaptação ao estresse hídrico, objetivando aumentar a capacidade de absorção de nutrientes. Correia e Nogueira (2004) relataram que plantas de amendoim desenvolveram estratégias para tolerar ambientes com restrições hídricas, intensificando a alocação de biomassa para o sistema radicular



As reduções dos teores de potássio que ocorreram no quinto mês, após o plantio, período precedido de déficit hídrico, podem estar relacionadas a aumentos da resistência estomática, favorecidos por reduções do potencial hídrico das plantas (SILVA; ROCHA NETO; FIGUEIREDO, 2002), com consequente efeito na absorção e translocação deste íon. Premachandra et al. (1991) observaram diminuição da resistência estomática em plantas de milho, em resposta à adubação com potássio que, por sua vez, aumentou a estabilidade da membrana celular e favoreceu o ajustamento osmótico. Ainda nesse aspecto, Maathuis et al. (1997) enfatizam que o potássio é o elemento que mais contribui para a pressão osmótica intracelular.

As reduções em potássio que ocorreram nas raízes no nono mês de cultivo, possivelmente, indicam um movimento desse íon em direção às folhas, favorecido pela restauração do potencial de água da planta, em decorrência do restabelecimento da precipitação pluviométrica observada no período.

4 CONCLUSÃO

- A concentração de clorofila é afetada em função da sazonalidade climática, independente do regime hídrico.

- A deficiência hídrica diminui os teores de potássio e açúcares solúveis totais, enquanto os teores de fósforo e proteínas se mantêm praticamente constantes.

- Em plantas com suprimento normal de água, os teores de potássio aumentam gradativamente com a idade das plantas.

REFERÊNCIAS

ALBERTE, R.S.; THORNBUR, J.P. Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplasts of maize. *Plant Physiology*, v. 59, p. 351-353, 1977.

ARNON, D. I. Cooper enzymes in isolated chloroplasts polyphenaloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, v. 24, p. 1-15, 1949.

BENINCASA; M. M. P.; LEITE; I. C. *Fisiologia vegetal*. Jaboticabal: Funep, 2004. 169p.

BLEVINS, D.G. Por que as plantas precisam de fósforo? *Informações Agronômicas*, v. 87, n. 2, 1999.

- BRADFORD, M. M. A rapide and sensitive method for quatification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v. 72, p. 248-251, 1976.
- BUCHANAN-WOLLASTON, V. The molecular biology of leaf senescence. *Journal of Experimental Botany*, v. 48, n. 307, p. 181-199, 1997.
- CELLIER, F.; CONÉJÉRO, G.; BREITLER, J. C.; CASSE, F. Molecular and physiological responses to water deficit in drought-sensitive lines of sunflower. Accumulation of dehydrin transcripts correlates with tolerance. *Plant Physiology*, v. 116, p. 319-328, 1998.
- CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, v. 42, n. 234, p. 1-16, 1991.
- CHEN Jr., P.S.; TORIBARA, T.Y.; WARNER, H. Micro determination of phosphorus. *Analytical Chemistry*, v. 28, p. 1756-1758, 1956.
- CONCEIÇÃO, H.E.O.; OLIVA, M.A.; LOPES, N.F.; ROCHA NETO, O.G. Resistência à seca em seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 20, n. 9, p. 1041-1050, 1985.
- CORDEIRO, Y.E.M. *Aspectos biofísicos e bioquímicos de plantas jovens de mogno brasileiro (Swietenia macrophylla/ King) sob dois regimes hídricos*. 2007. 44p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.
- CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento de amendoin (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.4, n.2, 2004. Disponível em: <http://www.uepb.edu.br/eduep/rbct/sumarios/sumario_v4_n2.htm>. Acesso em: 08 abr. 2008
- COSTA, R. C. L.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; MAIA, P. S. P.; ALVES, G. A. R.; LAUGHINGHOUSE, H. D. Biochemical and physiological responses in two *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Cultivars under water stress. *Journal of Agronomy*, v.7, p. 98-101, 2008.

- EMBRAPA-CPATU. *Pesquisa sobre utilização e conservação do solo*. Relatório final do convênio Embrapa-CPATU/GTZ. Belém, 1986. 291p. (EMBRAPA - CPATU, Documento, 40).
- ENGEL, V.L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 3, n.1, p. 39-45, 1991.
- GAN, S.; AMASINO, R. M. Making sense of senescence. Molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence. *Plant Physiology*, v. 113, p. 313-319, 1997.
- GRIFFITHS, H.; PARRY, M. A. J. Plant responses to water stress. *Annals of Botany*, v. 89, p. 801-802, 2002.
- GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. II. Produtividade e componentes agronômicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 7, p. 481-488, 1996.
- HANSON, A.D.; HITZ, W. D. Metabolic responses of mesophytes plants to water deficits. *Annual Review of Plant Physiology*, v. 33, p. 163-203, 1982.
- HEITHOLT, J.J.; JOHNSON, R.C.; FERRIS, D.M. Stomatal limitation to carbon dioxide assimilation in nitrogen e drought stressed wheat. *Crop Science*, v. 31, p. 135-139, 1991.
- LECHINOSKI, A.; FREITAS, J. M. N.; CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M. Influencia do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v.5, p. 927-929, jul. 2007. Supl.2
- LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; COSTA, R. C. L.; SANTOS FILHO, B. G.; CRUZ, F. J. R.; LAUGHINGHOUSE IV, H. D. Biochemical and physiological behavior of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. under stress during the vegetative phase. *Asian Journal of Plant Sciences*, v.7, p.44-49, 2008.

- MAATHUIS, F.J.M.; ICHIDA, A.M.; SANDERS, D.; SCHROEDER. Roles of higher plant K⁺ channels. *Plant Physiology*, v. 114, p. 1141-1149, 1997.
- MAGALHÃES, A.C.N. Fotossíntese. In: FERRI, M.G. *Fisiologia vegetal*. São Paulo: EPU, 1979. p.117-180.
- MARUR, C.J.; MAZZAFERA, P.; MAGALHÃES, A.C. Carbon assimilation and export in leaves of cotton plants under water deficit. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 8, n. 3, p. 181-186, 1996.
- MENEZES, C. H. S. G.; LIMA, L. H. G. M.; LIMA, M. M. A.; VIDAL, M. S. Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras*, v.10, n.1/2, p. 1039-1072, jan./ago. 2006.
- OHTSUKA, T., ITO, H.; TANAKA, A. Conversion of chlorophyll b to chlorophyll a and the assembly of chlorophyll with apoproteins by isolated chloroplast. *Plant Physiology*, v. 113, p. 137-147, 1997.
- PIMENTEL, C. *Metabolismo de carbono na agricultura tropical*. Seropédica: EDUR, 1998. 159p.
- _____. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 11, p. 2021-2027, 1999.
- PREMACHANDRA, G.S.; SANEOKA, H.; OGATA, S. Cell membrane stability and leaf water relations as affected by potassium nutrition of water-stressed maize. *Journal of Experimental Botany*, v. 42, n. 239, p. 739-745, 1991.
- ROSOLEM, C. A.; MATEUS, G. P.; GODOY, L. J. G.; FELTRAN, J.C.; BRANCALIAO, S. R. Morfologia radicular e suprimento de potássio às raízes de milho de acordo com a disponibilidade de água e potássio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p. 875-884, 2003.
- SALINAS, J.G.; GARCIA, R. *Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y forrajera*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1985. 83p.

- SILVA, E. S. A. *Respostas ecofisiológicas de pimenta longa (Piper hispidinervum C. DC.) submetidas a diferentes condições de manejo no município de Igarapé-Açu, PA.* 2000. 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2000.
- _____; ROCHA NETO, O.G.; FIGUEIRÊDO, F.J.C. Respostas biofísicas, alocação de biomassa e produção de óleo essencial de “pimenta longa” no município de Igarapé-Açu, PA-Brasil. *Acta Horticulturae*, v. 569, p.129-136, 2002.
- SIRCELJ, H.; TAUSZ, M.; GRILL, D.; BATIC, F. Biochemical responses in leaves of two apple tree cultivars subjected to progressing drought. *Journal of Plant Physiology*, v.162, p. 1308-1318, 2005.
- SOUZA, G.M.; GONÇALVES, A.N.; ALMEIDA, M. Water deficit in relation to leaf and stem anatomy of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Shoots cultivated in vitro. *Scientia Agrícola*, v. 56, n. 3, p. 232-238, 1999.
- STREIT, N.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. C.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n.3, p. 748-755, maio/jun., 2005.
- YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plants extracts by anthrone. *Biochemical Journal*, v. 57, p. 508-514, 1954.